

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
Please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11084307 A**

(43) Date of publication of application: **26 . 03 . 99**

(51) Int. Cl.  
**G02B 27/02**  
**G09F 9/00**  
**H04N 5/64**  
**H04N 13/00**

(21) Application number: **09236374**

(22) Date of filing: **01 . 09 . 97**

(71) Applicant: **M R SYST KENKYUSHO:KK**

(72) Inventor:  
**SATO KIYOHIDE**  
**OSHIMA TOSHIICHI**  
**YAMAMOTO HIROYUKI**

(54) **HEAD-MOUNTED OPTICAL DEVICE**

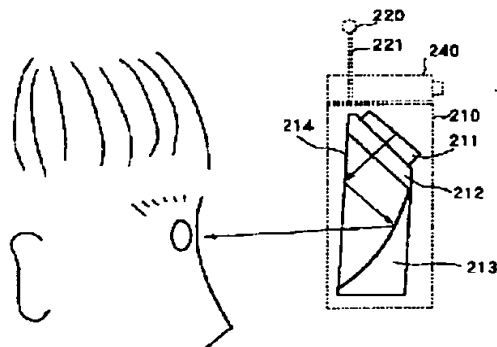
the change of the posture of the head.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To accurately measure the posture of a worker by following up his movement even when the three-dimensional position of the worker is moved by providing a device with a first optical system integrated in a main body and set for guiding an image to an eyeball and a camera fixed to the main body and having a visual field in front of his head.

**SOLUTION:** Respective HMDs 210 are fixed to the head of a player by bands. Besides, a magnetic sensor 220 and the CCD camera 240 are fixed to the head of the player. When the player obliquely looks down in order to view the surface of a table, the surface of the table, a virtual pack, a real mallet and a virtual goal can be viewed in the visual field through the HMDs 210. When the head of the player is horizontally moved within a horizontal two-dimensional plane or the tilting movement, the yaw movement or the rolling movement thereof is executed, the change thereof is detected by the sensor 220 and also observed as the change of the image picked up by the camera 240 in accordance with



特開平11-84307

(43) 公開日 平成11年(1999) 3月26日

(51) IntCl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 27/02

G 0 2 B 27/02

Z

G 0 9 F 9/00

3 5 7

G 0 9 F 9/00

3 5 7

H 0 4 N 5/64

5 1 1

H 0 4 N 5/64

5 1 1 A

13/00

13/00

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平9-236374

(22) 出願日

平成9年(1997) 9月1日

(71) 出願人

397024225

株式会社エム・アール・システム研究所

神奈川県横浜市西区花咲町6丁目145番地

(72) 発明者

佐藤 清秀

横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花

咲ビル 株式会社エム・アール・システム

研究所内

(72) 発明者

大島 登志一

横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花

咲ビル 株式会社エム・アール・システム

研究所内

(74) 代理人

弁理士 大塚 康德 (外2名)

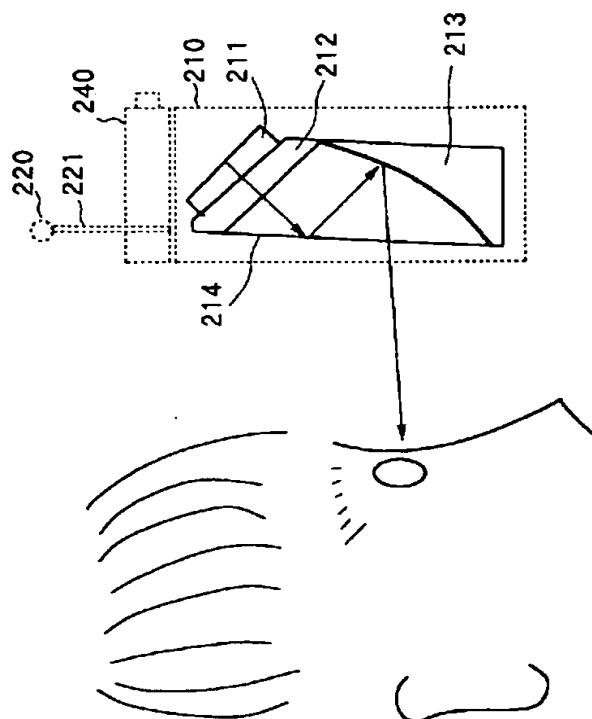
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 頭部装着型の光学装置

(57) 【要約】

【課題】 作業者の移動に追従して移動するカメラを備えた頭部装着型の光学装置を提案する。

【解決手段】 本体に組み込まれ、画像を眼球に導く第1の光学系(214, 213)と、本体に固定され、前記頭部前方に視野を有するカメラ(240)とを具備する光学的HMD。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学的シースルーの頭部に装着される光学装置であって、  
本体と、  
前記本体に組み込まれ、画像を眼球に導く第1の光学系と、  
前記本体に固定され、前記頭部前方に視野を有するカメラとを具備する頭部装着型の光学装置。

【請求項2】 前記頭部の3次元の位置と姿勢を検出するための3次元位置姿勢センサと、前記画像を表示する液晶表示パネルとを更に有することを特徴とする請求項1に記載の頭部装着型の光学装置。

【請求項3】 前記3次元位置センサは、磁界変化を検出する磁気センサであり、前記磁気センサは前記液晶表示部から空間的に離間して前記本体に固定されたことを特徴とする請求項1に記載の頭部装着型の光学装置。

【請求項4】 光学的シースルー型の光学装置であって、  
前記本体に組み込まれ、外部環境からの光を眼球に導く第2の光学系と、  
前記画像を表示する表示部とを有することにより、  
前記眼球には、前記第1の光学系からの前記画像の光と、前記第2の光学系からの環境の光が入光することを特徴とする請求項1に記載の頭部装着型の光学装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばヘッドマウントディスプレイなどに用いられる頭部装着型の光学装置に関し、特に、装着者の頭部位置を精度良く検出するためにカメラ等の画像取得手段を合わせ持つ光学装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、現実空間と仮想空間の繋ぎ目のない結合を目的とした複合現実感（以下、「MR」(Mixed Reality)と称す）に関する研究が盛んになっている。MRは、従来、現実空間と切り離された状況でのみ体験可能であったバーチャルリアリティ（以下VRと略す）の世界と現実空間との共存を目的とし、VRを増強する技術として注目されている。

【0003】MRの応用としては、患者の体内の様子を透視しているように医師に提示する医療補助の用途や、工場において製品の組み立て手順を実物に重ねて表示する作業補助の用途など、今までのVRとは質的に全く異なった新たな分野が期待されている。MRの応用としては、患者の体内の様子を透視しているように医師に提示する医療補助の用途や、工場において製品の組み立て手順を実物に重ねて表示する作業補助の用途など、今までのVRとは質的に全く異なった新たな分野が期待されている。

【0004】これらの応用に対して共通に要求されるの

は、現実空間と仮想空間の間の“ずれ”をいかにして取り除くかという技術である。“ずれ”は、位置ずれ、時間ずれ、質的ずれに分類可能であり、この中でも最も基本的な要求といえる位置ずれの解消については、従来から多くの取り組みが行われてきた。ビデオカメラで撮影された映像に仮想物体を重畳するビデオシースルー(Video-See-Through)方式のMRの場合、位置合せの問題は、そのビデオカメラの3次元位置を正確に求める問題に帰結される。

【0005】半透過型のHMD(Head Mount Display)を用いる光学シースルー(Optic-See-Through)方式のMRの場合における位置合せの問題は、ユーザーの視点の3次元位置を求める問題といえ、それらの計測法としては、磁気センサや超音波センサ、ジャイロといった3次元位置方位センサ利用が一般的であるが、これらの精度は必ずしも十分とはいえず、その誤差が位置ずれの原因となる。

【0006】一方、ビデオシースルー方式の場合には、このようなセンサを用いずに画像情報を元に画像上での位置合わせを直接行う手法も考えられる。この手法では位置ずれを直接取り扱えるため位置合わせが精度よく行える反面、実時間性や信頼性の欠如などの問題があった。近年になって、位置方位センサと画像情報の併用により、両者の欠点を互いに補って精度よい位置合わせを実現する試みが報告されている。

【0007】1つの試みとして、「Dynamic Registration Correction in Video-Based-Augmented Reality Systems」(Bajura MichaelとUlrich Neuman, IEEE Computer Graphics and Applications 15, 5, pp. 52-60, 1995) (以下、第1文献と呼ぶ)は、ビデオシースルー方式のMRにおいて、磁気センサの誤差によって生じる位置ずれを画像情報によって補正する手法を提案した。

【0008】また、「Superior Augmented Reality Registration by Integrating Landmark Tracking and Magnetic Tracking」(State Andrei等, Proc. of SIGGRAPH 96, pp. 429-438, 1996) (以下、第2文献と呼ぶ)は、さらにこの手法を発展させ、画像情報による位置推定の曖昧性をセンサ情報によって補う手法を提案した。上記従来例は、位置方位センサのみを用いてビデオシースルー方式のMRを構築した場合、そのセンサの誤差が原因となって画像上での位置ずれが生じることに鑑みて、その位置ずれを画像情報から検出するためには、その手掛かりとなるような、3次元位置が既知であるランドマークを現実空間に設定する。

【0009】センサ出力に誤差が含まれていないとすると、画像上で実際に観測されるランドマークの座標 $Q_I$ と、センサ出力に基づいて得られたカメラ位置とランドマークの3次元位置から導きだされるランドマークの観測予測座標 $P_I$ とは、同一となるはずである。しかし、実際にはセンサ出力に基づいて得られたカメラ位置は正

確ではないため、 $Q_I$ と $P_I$ は一致しない。この $P_I$ と $Q_I$ のずれは、ランドマーク位置における仮想空間と現実空間の位置ずれを表しており、このために、画像からランドマーク位置を抽出することで、ずれの向きと大きさが算出できる。

【0010】このように、画像上での位置ずれを定量的に計測することで、位置ずれを解消するようなカメラ位置の補正が可能となる。方位センサと画像を併用する最も単純な位置合わせ方式は、1点のランドマークを用いたセンサ誤差の補正と考えられ、画像上のランドマークの位置ずれに応じてカメラ位置を平行移動または回転させる手法が第1文献によって提案されている。

【0011】第1図に、1点のランドマークを用いた位置ずれ補正の基本的な考え方を示す。以下では、カメラの内部パラメータを既知として、歪みなどの影響を除外した理想的な撮像系によって画像撮影が行われているものと仮定する。カメラの視点位置をC、画像上でのランドマークの観測座標を $Q_I$ 、現実空間のランドマーク位置を $Q_R$ とすると、点 $Q_I$ は点Cと点 $Q_R$ を結ぶ直線 $l_Q$ 上に存在する。一方、位置方位センサによって与えられるカメラ位置からは、カメラ座標系におけるランドマーク位置 $P_C$ と、その画像上での観測座標 $P_I$ が推測できる。以下では、点Cから点 $Q_I$ 、 $P_I$ への3次元ベクトルを、それぞれ $v_1$ 、 $v_2$ と表記する。この方法では、補正後のランドマークの観測予測座標 $P'_I$ が $Q_I$ に一致するように（すなわち、カメラ座標系における補正後のランドマーク予測位置 $P'_C$ が、直線 $l_Q$ に乗るように）、カメラと物体の相対的な位置情報を修正する事によって、位置ずれが補正される。

【0012】ランドマークの位置ずれを、カメラ位置の回転によって補正することを考える。これは、二つのベクトル $v_1$ 、 $v_2$ の成す角 $\theta$ だけカメラが回転するように、カメラの位置情報に修正を加えることで実現できる。実際の計算では、上記ベクトル $v_1$ 、 $v_2$ を正規化したベクトル $v_{1n}$ 、 $v_{2n}$ を用いて、その外積 $v_{1n} \times v_{2n}$ を回転軸に、内積 $v_{1n} \cdot v_{2n}$ を回転角として、点Cを中心にカメラを回転させる。

【0013】ランドマークの位置ずれを、カメラ位置の相対的な平行移動によって補正することを考える。これは、仮想世界中の物体位置を $v = n(v_1 - v_2)$ だけ平行移動させることで実現できる。ここで $n$ は、次式によって定義されるスケールファクタである。

【0014】

【数1】

$$n = \frac{|CP_C|}{|CP_I|}$$

【0015】ここで、 $|AB|$ は点Aと点Bの間の距離を示す記号とする。また、カメラが $v$ だけ平行移動するようにカメラの位置情報に修正を加えることで、同

様の補正が可能となる。これは、この操作によって、相対的に仮想物体が $v$ だけ移動したことに等しくなるためである。以上の2つの手法は、ランドマーク上での位置ずれを2次的に一致させる手法であり、3次的に正しい位置にカメラ位置を補正することはできない。しかし、センサ誤差が小さい場合には十分な効果が期待できる。また、補正のための計算コストは非常に小さなものであり、実時間性に優れた手法である。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記文献に示された手法は、ビデオシースルー方式に限定されており、光学的シースルー方式の複合現実感装置へ適用するためには、好適ではなかった。光学的シースルー方式では、位置合わせの問題がビデオシースルー方式に比して遥かに重要になってくるからである。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明はこのような事態に鑑みてなされたもので、その目的は、作業者の移動に追従して移動するカメラを備えた光学装置を提案することを目的とする。上記課題を達成するための、本発明の、光学的シースルーの頭部に装着される光学装置は、本体と、前記本体に組み込まれ、画像を眼球に導く第1の光学系と、前記本体に固定され、前記頭部前方に視野を有するカメラとを具備することを特徴とする。

【0018】本発明の好適な一態様に拠れば、3次元の位置と姿勢を検出するための3次元位置姿勢センサと、前記画像を表示する液晶表示パネルとを更に有する。本発明の好適な一態様に拠れば、前記3次元位置センサは、磁界変化を検出する磁気センサであり、前記磁気センサは前記液晶表示部から空間的に離間して前記本体に固定されている。

【0019】本発明の好適な一態様である頭部装着型光学装置は、光学的シースルー型の光学装置であって、前記本体に組み込まれ、外部環境からの光を眼球に導く第2の光学系と、前記画像を表示する表示部とを有することにより、前記眼球には、前記第1の光学系からの前記画像の光と、前記第2の光学系からの環境の光が入光することを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の、複合現実感の提示手法及びHMDをエアホッケーゲーム装置に適用した実施形態に係わるシステムを説明する。エアホッケーゲームは相手の存在する対戦型のゲームであり、通常、下部から圧縮空気を供給してバックを浮かして、このバックを打ち合い、相手のゴールにバックを入れたら得点が入る。得点の多い方を勝者とするゲームである。本実施形態のMRを適用したエアホッケーゲームは、バックを仮想3次元画像として現実環境のテーブルに重畳してプレーヤーに提示して、現実のマレットで打ち合うものである。

【0021】〈ゲーム装置の構成〉第2図は、本実施形態のシステムのゲーム装置部分を側面から見た図である。複合現実感のエアホッケーゲームは、テーブル1000を挟んで、二人の対戦者2000、3000が手にマレット(260L, 260R)をもって向かい合う。二人の対戦者2000、3000は頭部にヘッドマウントディスプレイ210L, 210R(以下HMDと略す)を装着する。本実施形態のマレットはその先端に赤外線発光器を有している。本実施形態では、画像処理によりマレット位置を検出するが、マレットの形状や色に特徴があるのであれば、それらの特徴を用いたパターン認識による検出も可能である。

【0022】実施形態のHMD210は、第4図に示すようにシースルー型である。両対戦者2000、3000は、HMD210L, 210Rを装着していても、テーブル1000の表面を観察することができる。HMD210には後述の画像処理システムから三次元仮想画像が入力される。従って、対戦者2000、3000は、HMD210の光学系(第2図には不図示)を通した現実空間の映像に重ねて、HMD210の表示画面に表示された三次元画像を見ることとなる。

【0023】第3図は、左側プレーヤ2000が自身のHMD210Lからみた映像を示す。二人のプレーヤは仮想のバック1500を打ち合う。バック1500を打つのはプレーヤ2000が手に握っている現実のマレット260Lを用いる。プレーヤ2000は手にマレット260Lを握っている。相手プレーヤ3000の直前にはゴール1200Rが見える。画像処理システム(第3図には不図示)は、ゴール1200Rが相手方近傍に見えるように、三次元CGを生成してHMD240Lに表示する。

【0024】対するプレーヤ3000も、HMD210Rを介してプレーヤ3000の近傍にゴール1200Lを見ることとなる。バック1500も不図示の画像処理システムにより生成されて、各々のHMDに表示される。

〈磁気センサつきHMD〉第4図は、HMD210の構成を示す。このHMD210は、例えば特開平7-333551号のHMDの本体に、磁気センサ220を支柱221を介して取り付けられたものである。図中、211はLCD表示パネルである。LCD表示パネルからの光は、光学部材212に入射し、全反射面214にて反射して、凹面ミラー213の全反射面にて反射して、全反射面214を透過して観察者の目に届く。

【0025】磁気センサ220は、本実施形態では、Polhemus社の磁気センサFastrackを用いた。磁気センサは磁気ノイズに弱いので、支柱221により、ノイズ発生源である表示パネル211及びカメラ240から離間した。尚、第4図に示したHMDに磁気センサ及び(又は)カメラを取り付ける構成は、光学的シースルー方式

のHMDに限られず、ビデオシースルー方式のHMDであっても、磁気センサ及び(又は)カメラを、頭部位置及び姿勢を正確に検出する目的で、そのHMDに装着することは可能である。

【0026】第2図において、夫々のHMD210はバンド(不図示)によってプレーヤの頭部に固定される。プレーヤの夫々の頭部には、第4図に示すように磁気センサ220が、第2図に示すようにCCDカメラ240(240L, 240R)が、それぞれ固定されている。カメラ240の視界はプレーヤの前方に設定されている。エアホッケーゲームの場合には、それぞれテーブル1000の上面を見ることとなるので、カメラ240もテーブル1000の表面の画像を撮像する。磁気センサ220(220L, 220R)は、交流磁界発生源250が発する交流磁界の変化をセンスする。

【0027】プレーヤがテーブル1000の表面を見るために斜め下方を向くと、HMD210を通した視界には、テーブル1000の表面と、前述の仮想のバック1500、現実のマレット260(260L, 260R)、仮想のゴール1200(1200L, 1200R)が見える。また、プレーヤが、頭部を、水平二次元平面内において水平移動させ、あるいはティルティング運動、ヨー運動、ローリング運動を行わせると、その変化は先ず磁気センサ220によって検出され、併せて、頭部の姿勢変化に伴ってCCDカメラ240が撮像する画像の変化として観測される。

【0028】〈複数のマーカ〉夫々のマレット260はその先端に赤外線発光器を有しており、マレット位置はこの赤外線を検出するCCDカメラ230によってその二次元平面位置を知ることができる。CCDカメラ240はマーカ画像と呼ばれる画像を出力する。

【0029】第5図はテーブル1000上に配置されたマーカの一例を示す。第5図において、○印で示した5つのランドマーク即ちマーカ(1600~1604)はプレーヤ2000の頭部位置を補助的に検出するために用いられるマーカを示し、□印で示した5つのランドマーク即ちマーカ(1650~1654)はプレーヤ3000の頭部位置を補助的に検出するために用いられるマーカを示す。マーカをこのように複数配置すると、頭部の位置、特に姿勢によって、どのマーカが見えるかが決まる、換言すれば、各々のプレーヤの装着されたCCDカメラ240が写す画像中におけるマーカを特定し、画像内での位置を検出できれば、プレーヤの頭部姿勢を検出する磁気センサの出力信号の補正に用いることができる。

【0030】二人のプレーヤ(2000, 3000)に対してそれぞれ割り当てられたマーカ群(1600~1608)とマーカ群1650~1658)とは、それぞれ、異なる色に着色されている。本実施形態では、左側プレーヤ(#1プレーヤ)のためのマーカは赤色に、右

側プレーヤ（#2プレーヤ）のためのマークは緑色に着色されている。画像処理におけるマークの区別を容易にするためである。

【0031】本実施形態の大きな特徴は、マークを複数配置した点にある。複数配置することによって、プレーヤがテーブル1000上で本エアホッケーゲームの動作範囲内で行動する限りにおいて、少なくとも1つのマークがCCDカメラ240の視野内に入ることが保証される。第6図は、プレーヤが頭部を色々と移動した場合において、頭部の移動に伴って、マークを検出する画像処理範囲が移動する様子が描かれてる。同図に示すように、1つの画像には少なくとも1つのマークが入っている。換言すれば、マークの数、マーク間の間隔等は、テーブル1000の大きさ、カメラ240の視野角、ゲームの性質に基づくプレーヤの移動範囲の大きさに応じて設定されるべきである。この場合、プレーヤから遠方であればあるほど、広い範囲が視野に入るので、マーク間の間隔を広くして良い。これは、近傍にあるマーク間の画像中での間隔距離と、遠方にあるマーク間の画像中での距離とを同じくするためである。同じフレーム内に不必要に複数のマークが撮像されるのを防ぐためである。

【0032】〈MR画像生成システム〉第7図は、第2図に示したゲーム装置における三次元画像の生成提示システムの構成を示す。この画像生成提示システムは、左側プレーヤ2000のHMD240L及び右側プレーヤ3000のHMD240Rの夫々の表示装置に、三次元の仮想画像（第3図のバック1500、ゴール1200）を出力するものである。三次元の仮想画像の生成は、画像生成部5050L、5050Rに拠って行われる。本実施形態では、画像生成部5050の夫々に米国SiliconGraphics社製のコンピュータシステムONYX2を用いた。

【0033】画像生成部5050は、ゲーム状態管理部5030が生成するバック位置情報等と、2つの補正処理部5040L、5040Rが生成する補正後の視点位置・頭部方向に関する情報とを入力する。ゲーム状態管理部5030および補正処理部5040L、5040Rの夫々はコンピュータシステムONYX2により構成された。

【0034】テーブル1000の中央上空に固定されたCCDカメラ230は、テーブル1000の表面を全て視野に納める。カメラ230によって取得されたマレット情報はマレット位置計測部5010に入力される。この計測部5010は、同じく、SiliconGraphics社製02コンピュータシステムにより構成された。計測部5010は、二名のプレーヤのマレット位置、即ち、手の位置を検出する。手の位置に関する情報はゲーム状態管理部5030に入力されて、ここで、ゲーム状態が管理される。即ち、ゲーム状態・ゲームの進行は基本的にはマレットの位置によって全てが決定される。

【0035】SiliconGraphics社製コンピュータシステム02により構成された位置姿勢検出部5000は、2つの磁気センサ220L、220Rの出力を入力して、各プレーヤの視点位置及び頭部姿勢を検出し、補正処理部5040L、5040Rに出力する。一方、各プレーヤの頭部に固定されたCCDカメラ240L、240Rはマーク画像を取得し、このマーク画像は、夫々、マーク位置検出部5060L、5060Rにおいて処理され、夫々のカメラ240の視野に納まっているマークの位置が検出される。マーク位置に関する情報は補正処理部5040（5040L、5040R）に入力される。

【0036】ここで、2つのマーク位置検出部5060（5060L、5060R）は02コンピュータシステムにより構成された。〈マレット位置計測〉第8図乃至第10図は、マレット位置を計測する制御手順を示すフローチャートである。

【0037】エアホッケーゲームでは、プレーヤは自身のマレットを他のプレーヤの領域まで進めることはない。そのために、左側プレーヤ2000（右側プレーヤ3000）のマレット260L（260R）を探索する処理は、第11図に示すように、左側フィールドの画像データ $I_L$ （画像データ $I_R$ ）に処理を集中すればよい。固定位置にあるCCDカメラ230が取得した画像を第11図に示すように2つの分割することは容易である。

【0038】従って、第8図のフローチャートにおいて、プレーヤ#1（プレーヤ2000）のマレット260Lの探索についてはステップS100で、プレーヤ#2（プレーヤ3000）のマレット260Rの探索についてはステップS200で処理が行われる。そこで、便宜上、右側プレーヤのマレットの探索（ステップS200）を例にして説明する。

【0039】まず、ステップS210でTVカメラ230から多値画像を取得する。ステップS212では、右半分の画像データ $I_R$ についてサブルーチン「ローカル領域での探索」を行う。その詳細は第9図に示される。ステップS212で画像座標系でのマレット位置の座標（ $x$ ， $y$ ）が見つかったと、ステップS214からステップS220に進み、画像座標系でのマレット位置座標（ $x$ ， $y$ ）を次式に従ってテーブル1000の座標系（第13図を参照）の座標位置（ $x'$ ， $y'$ ）に変換する。

【0040】

【数2】

$$\begin{bmatrix} hx' \\ hy' \\ h \end{bmatrix} = M_T \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

【0041】ここで、 $M_T$ は画像座標系とテーブル座標系とをキャリブレーションするための $3 \times 3$ の変換行列で、既知である。ステップS220で得られた座標位置（ $x'$ ， $y'$ ）はゲーム状態管理部5030に送られ

る。ローカル領域でマレットが見つからなかったならば、ステップS 2 1 6で「グローバル領域での探索」を行う。「グローバル領域での探索」でマレットが見つかったならば、ステップS 2 2 0でその座標位置をテーブル座標系に変換する。尚、ローカル又はグローバル領域で探索された座標位置は、次のフレームでのローカル領域におけるマレットの探索に用いられる。

【0042】第9図はマレットをローカル領域で探索する処理（ステップS 2 1 2の詳細）を示す。但し、この処理は便宜上右側フィールドにおける探索処理を示すが、左側フィールドにおけるマレットの探索処理についても実質的に同様である。ステップS 2 2 0で、次式で定義される大きさ  $(2A+1) \times (2B+1)$  画素の矩形領域を抽出する。

【0043】

【数3】

$$x = [I'_x - A, I'_x + A]$$

$$y = [I'_y - A, I'_y + B]$$

【0044】ここで、 $I_x$ 、 $I_y$ は探索領域 $I_R$ 中の任意の座標値であり、 $A$ 、 $B$ は探索領域の大きさを決める定数であって、かかる探索領域は第12図のようになる。ステップS 2 3 0は、ステップS 2 2 0で定義された矩形領域中の全ての画素  $(x, y)$  について、特徴の評価値  $I_S(x, y)$  が一定の条件を満足するものを抽出する工程である。マレットを探索する目的では、特徴量は、画素値（赤外光の強度値）の類似度が好適である。本実施形態では、マレットには赤外線発光器を用いているので、その赤外光の強度の特徴を有するものは、一応マレットと判断する。

【0045】即ち、ステップS 2 3 2では、類似度  $I_S$  が所定の閾値以上にマレットに近い画素を見つける。そのような画素を見つけると、カウンタ $N$ に発生度数の累積値を記憶する。また、そのような画素の $x$ 座標値及び $y$ 座標値をレジスタ $SUMx$ 及び $SUMy$ に累積記憶する。即ち、

【0046】

【数4】

$$N = N + 1$$

$$SUMx = SUMx + x$$

$$SUMy = SUMy + y$$

【0047】とする。ステップS 2 3 0を終了すると、第12図の領域中でマレットからの赤外光のパターンに類似している全ての画素の個数 $N$ 、及び座標値の累積値 $SUMx$ 、 $SUMy$ が得られる。 $N=0$ であればステップS 2 3 6で結果“Not Found”が出力される。 $N>0$ であれば、マレットらしいものが見つかったのであり、ステップS 2 3 8で、マレットの位置  $(I_x, I_y)$  を、

【0048】

【数5】

$$I_x = \frac{SUMx}{N}$$

$$I_y = \frac{SUMy}{N}$$

【0049】に従って演算する。そして、マレット位置  $(I_x, I_y)$  をテーブル座標系に変換した座標値を渡す。第10図は、ステップS 2 1 6のグローバル領域探索の詳細手順を示す。第10図のステップS 2 4 0で、右側フィールドの画像  $I_R$  中の、

【0050】

【数6】

$$\{(x, y) \mid x > 0, x < \text{Width}, x = nC,$$

$$y > 0, y < \text{Height}, y = mD$$

(ただし  $n, m$  は整数) }

【0051】を満足する画素の中で、特徴の評価値  $I_s$  の最大値をレジスタ $Max$ に記憶する。ここで、 $C, D$ は探索の粗さを決める定数であり、 $Width$ および $Height$ はその定義を第15図に示す。即ち、ステップS 2 4 2で、特徴量  $I_S$  が閾値記憶レジスタ $Max$ に記憶されている閾値を超えるか否かを判断する。そのような画素が見つかったならば、ステップS 2 4 4で、その特徴量を新たな閾値とすべく、ステップS 2 4 4で、

【0052】

【数7】

$$Max = I_s(x, y)$$

$$I_x = x$$

$$I_y = y$$

【0053】とする。ステップS 2 4 6では、グローバル探索で見つかった最もマレットらしい画素  $(I_x, I_y)$  の座標値をステップS 2 2 0に渡す。このようにして、マレットを画像中で見つけ、その座標値をテーブル座標系に変換したものをゲーム状態管理部5030に渡す。

〈ゲーム状態管理〉第13図は、本実施形態のエアホッケーゲームのゲームフィールドを示す。このフィールドは、テーブル1000の上の2次元平面上に定義され、 $x, y$  軸を有する。また、左右の2つの仮想的ゴールライン1200L、1200Rと、第13図において上下方向に設けられた仮想的壁1300a、1300bとを有する。仮想的ゴールライン1200L、1200Rと仮想的壁1300a、1300bとは、その座標値は既知であり、移動することはない。このフィールドの中で、マレット260R、260Lの移動に応じて、パック1500の仮想画像が移動する。

【0054】パック1500は、現在位置の座標情報 $P_p$ と速度情報 $v_p$ とを有し、左マレット260Lは現在位置の座標情報 $P_{SL}$ と速度情報 $v_{SL}$ とを有し、右マレット

30

40

50



260Rは現在位置の座標情報 $P_{SR}$ と速度情報 $v_{SR}$ とを有する。第14図は、ゲーム状態管理部5030における処理手順を説明するフローチャートである。

【0055】ステップS10において、バック1500の初期位置 $P_{p0}$ 及び初期速度 $v_{p0}$ を設定する。尚、バックは速度 $v_p$ で等速度運動を行う。また、バックは、壁又はスティックに当たると完全弾性衝突を行う、即ち、速度方向が反転する。ゲーム状態管理部5030は、マレット位置計測部5010が計測した各マレットの位置情報 $P_S$ から速度情報 $v_S$ を得る。

【0056】ステップS12は、ゲームでの勝敗が決定する（ステップS50で一方が3点を先取する）迄の間は、 $\Delta t$ 時間毎に実行される。すると、ステップS12では、バックの位置は、

【0057】

【数8】

$$P_p = P_{p0} + v_{p0} \cdot \Delta t$$

【0058】に更新される。初期位置及び初期速度設定後におけるバックの位置は、一般には、

【0059】

【数9】

$$P_p = P_{p0} + v_p \cdot \Delta t$$

【0060】で表される。ステップS14では、更新されたバック位置 $P_p$ がプレーヤの#1側（左プレーヤ）のフィールドにあるか否かを調べる。バック1500が左プレーヤ側にある場合について説明する。ステップS16では、現在のバック位置が左プレーヤのスティック1100Lと干渉する位置にあるか否かを調べる。バック1500がスティック1100Lと干渉する位置にあるとは、左プレーヤ2000がマレット260Lをバックに衝突させるようなマレット操作を行ったことを意味するから、バック1500の運動を反転させるために、

ステップS18で、バック1500の速度 $v_p$ のx方向速度成分の符号を反転させて、ステップS20に進む。

【0061】尚、単に速度 $v_p$ のx方向速度成分の符号を反転させる代わりに、

【0062】

【数10】

$$P_p = -P_{px} + v_{SLx}$$

【0063】として、バックが、スティックの操作速度を重畳されて反対方向に進むようにしても良い。一方、現在のバック位置が左プレーヤのスティック1100Lと干渉する位置にない場合（ステップS16でNO）には、そのままステップS20に進む。ステップS20では、バックの位置 $P_{i+1}$ が仮想壁1300a又は1300bと衝突する位置にあるか否かを調べる。ステップS20の判断がYESの場合には、ステップS22でバックの速度のy成分を反転させる。

【0064】次ぎにステップS24で、現在のバック位置が左プレーヤのゴールライン内にあるか否かを調べ

る。YESの場合には、ステップS26で相手側のプレーヤ、即ち、右（#2）プレーヤの得点を加算する。ステップS50では、いずれかの得点が3点以上先取したかを調べる。3点以上であればゲームを終了する。ステップS14での判断で、バックの位置 $P_p$ が右プレーヤ側（#2プレーヤ側）にある場合には、ステップS30以下を実行する。ステップS30～ステップS40は、ステップS16～ステップS26と実質的に動作は同じである。

10 【0065】かくして、ゲームの進行状態は管理される。ゲームの進行状態は、バックの位置、スティックの位置であり、前述したように、画像生成部5050（5050L, 5050R）に入力される。

〈頭部位置の補正〉第16図は、補正処理部5040

（5040L, 5040R）における処理の制御手順の全体を示す。補正処理部5040における補正とは、誤

差を有すると思われる磁気センサによって得られた視点位置及び頭部姿勢データを、CCDカメラ240から得られた画像中のマーカ位置により、カメラ240の位置

20 （頭部の位置に密接に関連するものでもある）の補正値を求め、その補正値を用いて、最終的に、視点のビューイング変換行列を変更することにより補正するものである。

【0066】即ち、ステップS400では、磁気センサ220の出力に基づいて、カメラのビューイング変換行列（ $4 \times 4$ ）を計算する。ステップS410では、カメラ240の理想的透視変換行列（既知）及び各マーカの三次元位置（既知）に基づいて、各マーカの観測座標を予測する。マーカ位置検出部5060（5060L, 5060R）は、プレーヤの頭部に取り付けられたカメラ240（240L, 240R）から得た画像中でマーカを追跡している。従って、マーカ位置検出部5060は検出したマーカ位置を、補正処理部5040（ステップS420において）に渡す。補正処理部5040（5040L, 5040R）は、ステップS420において、渡されたマーカ位置情報に基づいて、観測しているマーカ、即ち補正の基準となるマーカを判別する。ステップS430では、カメラ240の位置の補正値を算出して、この補正値に基づいて、ステップS440で、視点のビューイング変換を補正し、補正された変換行列を画像生成部5050（5050L, 5050R）に渡す。

【0067】第17図はマーカ位置検出部5060における処理手順である。ステップS500では、カメラ240が取得したカラー画像を取り込む。その後、ステップS502では、「ローカル領域探索」を、ステップS506では「グローバル領域探索」を行って、カメラ座標系によって表されたマーカ位置（x, y）を検出する。ステップS502の「ローカル領域探索」、ステップS506の「グローバル領域探索」は、手順としては、マレット探索における「ローカル領域探索」（第9

図)、「グローバル領域探索」(第10図)に実質的に同じであるので、図示を省略する。

【0068】但し、マーカ探索のための特徴量 $I_S$ (ステップS232の)として、プレーヤ#1(左)について、注目画素の画素値の、

【0069】

【数11】

$$\frac{R}{(G+B)/2}$$

【0070】を用いる。プレーヤ#1については、マーカ(1600~1604)には赤色を用いているので、この特徴量は赤らしさの程度を表す。また、プレーヤ#2(右)については緑色のマーカ(1650~1654)を用いているので、

【0071】

【数12】

$$\frac{G}{(R+B)/2}$$

【0072】を用いる。また、グローバル探索における特徴量 $I_S(x, y)$ についても上記2つの量を用いる。ステップS502及びステップS506で得られたマーカの座標値は、ステップS510で、歪みを補正す

$$M_C = \begin{bmatrix} \cos r & -\sin r & 0 & 0 \\ \sin r & \cos r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos p & -\sin p & 0 \\ 0 & \sin p & \cos p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X \\ 0 & 1 & 0 & -Y \\ 0 & 0 & 1 & -Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0077】であり、 $d$ をカメラ240の焦点距離、 $w$ をカメラの撮像面の幅、 $h$ を同じく高さとする、 $P_C$ は、

【0078】

【数15】

$$P_C = \begin{bmatrix} d/w & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d/h & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

【0079】で表される。ステップS520では、注目マーカの座標位置 $(X, Y, Z)$ を、次式に従って、画像座標系での位置 $(x_h, y_h, z_h)$ に変換する。

【0080】

【数16】

るための行列 $M$ (例えば $3 \times 3$ の大きさを有する)を用いて歪みのない理想的な画像座標系に変換する。この時の変換式は、

【0073】

【数13】

$$\begin{bmatrix} hx' \\ hy' \\ h \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

10 【0074】である。次に、第16図のステップS410の処理の詳細について、第18図を用いて説明する。前述したように、ステップS400では世界座標系からカメラ座標系への変換行列 $M_C$ ( $4 \times 4$ のビューイング変換行列)が得られている。一方、カメラ座標系から画像座標系への変換行列 $P_C$ ( $4 \times 4$ )も既知の値として与えられている。また、注目するマーカの三次元座標位置 $(X, Y, Z)$ も既知として与えられている。

【0075】周知のように、角度 $r$ をカメラ240の位置でのZ軸方向の回転(roll)とし、角度 $p$ をカメラ240の位置でのX軸方向の回転(pitch)とし、角度 $\phi$ をカメラ240の位置でのZ軸方向の回転(yaw)とすると、

【0076】

【数14】

$$\begin{bmatrix} x_h \\ y_h \\ z_h \\ 1 \end{bmatrix} = P_C \cdot M_C \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

40

【0081】ステップS522では、マーカの観測予測位置 $x, y$ として、

【0082】

【数17】

$$x = \frac{x_h}{z_h},$$

$$y = \frac{y_h}{z_h}$$

50 【0083】を得る。次に、ステップS420におけ

る「マーカ判別」の処理を説明する。第19図は、テーブル1000上において、一方のプレーヤのカメラ240が画像600を取得した場合を示す。テーブル1000上に設けられているマーカを、例えば $M_1 \sim M_7$ とし、△印で表す。このマーカの三次元位置 $M_i$ は既知である。画像600内には、マーカ $M_2, M_3, M_6, M_7$ が含まれている。一方、各マーカ $M_i$ の観測予測位置はステップS520で求められたものであり、それを $P_i$ とする。また、Qは、マーカ位置検出部5060が検出し、検出部5060から渡されたマーカ位置を示す。

【0084】ステップS420の「マーカの判別」は、マーカ位置検出部5060が検出したマーカ位置Qが、どの $P_i$ （即ち、どの $M_i$ ）に対応するかを判断するものである。第19図において、ベクトル $e_i$ を、検出されたマーカ位置Qから各マーカの予測位置 $P_i$ に向かうベクトルの長さ、即ち、距離を表すものとする。ステップS420の詳細を第20図に示す。即ち、第20図の処理は、画像6000内に入るマーカ $i$ （ $i=0 \sim n$ ）の距離 $e_i$ のうち、最小値を示すマーカを探索し、そのマーカの識別子 $i$ を出力するものである。即ち、

【0085】

【数18】

$$i: \text{Min}\{e_i\}$$

【0086】である。第19図の例では、 $P_2$ 間での距離 $e_2$ が一番短いので、マーカ $M_2$ を磁気センサ出力の補正に用いるデータとする。かくして、プレーヤがどのように移動しても、その活動範囲（フィールド）内では、カメラ240はいずれかの1つ以上のマーカを画像中に捉えるので、従来のように、フィールドの大きさを狭く限定する必要がなくなる。

【0087】尚、ステップS430、ステップS440での処理は、第1図において説明した処理と同じである。

〈変形例1〉本発明は上述の実施例にのみ適用されるものではない。上記実施形態では、画像中にマーカを検出する処理は、第17図に示すように、最初に見つかったものを追跡対象のマーカとしていた。そのために、例えば、第21図に示すように、あるフレームでマーカ $M_1$ を含む画像800が得られた場合に、その後のフレームの画像領域810には、マーカが領域810の端部ではあるがその領域810内に含まれている場合には、マーカ $M_i$ を補正処理の基準用のマーカとして決定することに不都合はない。しかし、その後のフレームで、例えば画像820が得られ、その領域内にはマーカ $M_i$ が外れ、代わりにマーカ $M_2$ を含む場合には、補正のための基準マーカはそのマーカ $M_2$ に変更せざるを得ない。このようなマーカの変更は追跡に失敗した場合にも必要となり、位置ずれの補正には、新たに追跡されたマーカが利用される。

【0088】このように補正に使用するマーカを切り替

えることの問題点として、その切り替わりの際に、補正値の急激な変化が原因となって、仮想物体が不自然に移動してしまう場合がある。そこで、補正値の時間的整合性を保つために、前フレームまでの補正値を次の補正値の設定に反映させることを変形例として提案する。

【0089】即ち、あるフレームでの補正値（世界座標系での平行移動を表す3次元ベクトル）を $v^t$ 、前フレームでの補正値を $v^{t-1}$ としたとき、次式で求められる $v^t$ を新たな補正値とする。

【0090】

【数19】

$$v^t = \alpha \cdot v^{t-1} + (1 - \alpha) \cdot v^t$$

【0091】ここで $\alpha$ は、過去の情報の影響の度合いを定義する $0 \leq \alpha < 1$ の定数である。上記式の意味するところは、前フレームでの補正値 $v^{t-1}$ に拠る寄与度を $\alpha$ とし、今回のフレームで得られた補正値 $v^t$ を $(1 - \alpha)$ の寄与度で用いるというものである。このようにすることにより、補正値の急激な変化が緩和され、三次元仮想画像の急激な変化（不自然な移動）が解消する。新たな補正値 $\alpha$ を適当な値に設定することで、マーカの切り替えによる不自然な物体の移動を防ぐことができる。

【0092】〈変形例2〉上記実施形態では、画像中にマーカを検出する処理は、第17図に示すように、ローカル探索でマーカを発見できなかった場合、前回のフレームでのマーカの位置に関わらず、全画面中で最も類似度の高い点を追跡対象のマーカとしていた。ここで、マーカの探索を、前のフレームで見つかったマーカの位置を中心にして、マーカ探索を行う変形例を提案する。これは、プレーヤの移動に伴う画像フレームの移動があっても、マーカは前フレームに存在した位置から大きくずれていない位置に存在する可能性が高いからである。

【0093】第22図は、前回のフレームにおいて見つかったマーカを今回のフレームに探索する原理を説明する。このような探索経路で探索を行い、ある閾値以上の類似度を持つ点を見つけたら、この点を追跡対象のマーカとするのである。

〈変形例3〉上記実施形態は光学式HMDを用いたものであったが、本発明は光学式HMDの適用に限定されるものではなく、ビデオスルー方式のHMDにも適用可能である。

【0094】〈変形例4〉上記実施形態は、エアホッケーゲームに適用したものであったが、本発明はエアホッケーゲームに限られない。本発明は、複数人の作業（例えばマレット操作）を、1つのカメラ手段により撮像して捉えるので、その複数人の作業を1つの仮想空間に再現することが可能である。従って、本発明は、2人以上の作業者を前提とした協調作業（例えば、複数人による設計作業のMRプレゼンテーション、あるいは複数人の対戦型ゲーム）の実施例にも好適である。

【0095】本発明の、複数のマーカに基づいた頭部姿勢位置を補正する処理は、複数人の協調作業にのみ好適であることはない。一人の作業（あるいはプレーヤ）に複合現実感を提示するシステムにも適用可能である。

【0096】

【発明の効果】以上説明したように本発明の光学装置に因れば、作業前方の画像を取得するためのカメラが作業者の頭部位置に装着されているので、この画像を用いて作業者の三次元位置が変動する場合においても、追隨して作業者の姿勢を精度良く計測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来技術において、および本発明の実施形態に適用されている、カメラ位置の補正の原理を説明する図。

【図2】 本発明の実施形態に用いられているゲーム装置の構成を示す側面図。

【図3】 第2図のゲーム装置で左側プレーヤの視界に見えるシーンを説明する図。

【図4】 第2図のゲーム装置に用いられているHMD 20の構成を説明する図。

【図5】 第2図のゲーム装置のテーブルに設けられたマーカの配置を説明する図。

【図6】 第5図のテーブル上で、プレーヤの移動につれて、プレーヤの頭部に装着されたカメラに捉えられる画像中に含まれるマーカの変遷を説明する図。

【図7】 実施形態のゲーム装置のための、三次元画像生成装置の構成を説明する図。

【図8】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理手順を説明するフローチャート。

【図9】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理手順の一部サブルーチン（ローカル探索）を説明するフローチャート。

【図10】 実施形態のマレット位置計測部に因る処理手順の一部サブルーチン（グローバル探索）を説明するフローチャート。

【図11】 第8図のフローチャートの処理において用いられる処理対象領域の分割を説明する図。

【図12】 第8図のフローチャートの処理において用いられる対象領域の設定手法を示す図。

【図13】 本実施形態のゲームにおける仮想ゲームフィールドの構成を説明する図。

【図14】 実施形態のゲーム状態管理部におけるゲーム管理の制御手順を説明するフローチャート。

【図15】 マレット検出のための手法を説明する図。

【図16】 実施形態における補正処理部の処理手順を全体的に説明するフローチャート。

【図17】 第16図のフローチャートの一部（マーカの追跡）を詳細に説明するフローチャート。

【図18】 第16図のフローチャートの一部（マーカ位置の予測）を詳細に説明するフローチャート。

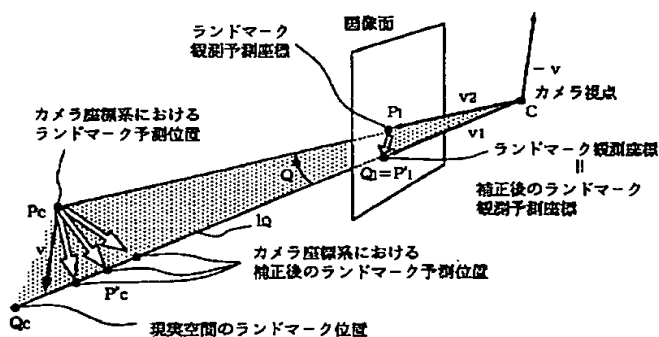
【図19】 補正のために使用される基準となるマーカの検出の原理を説明する図。

【図20】 基準となるマーカの検出の原理を説明するフローチャート。

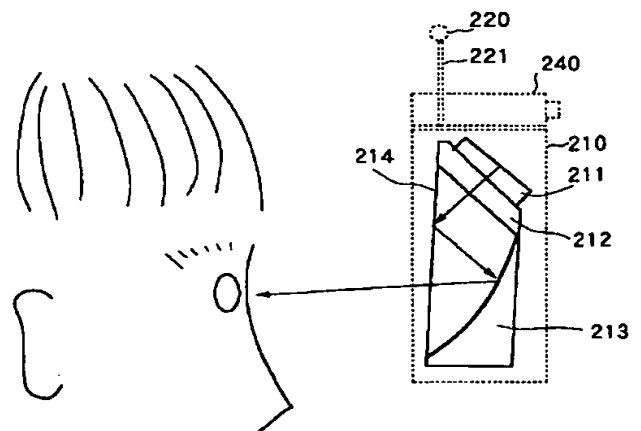
【図21】 実施形態の変形例に適用される基準マーカの変遷を説明する図。

【図22】 実施形態の変形例に適用されるマーカ探索の原理を説明する図。

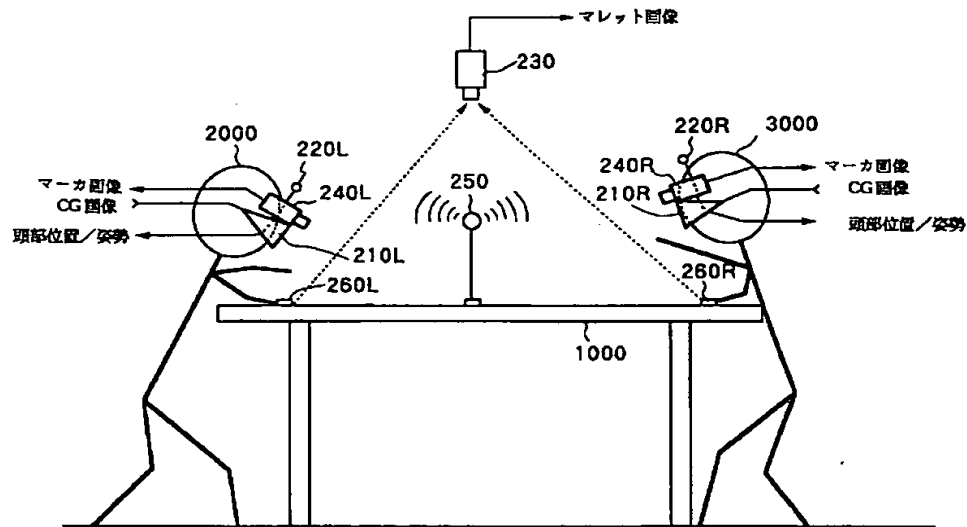
【図1】



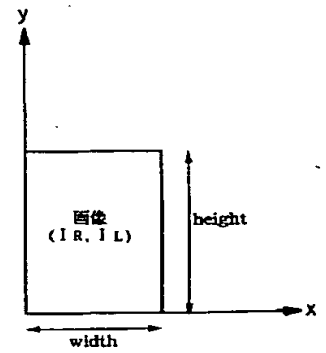
【図4】



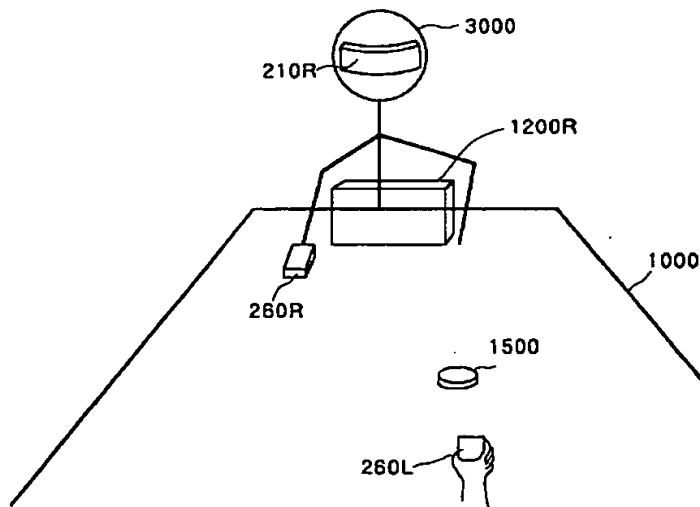
【図2】



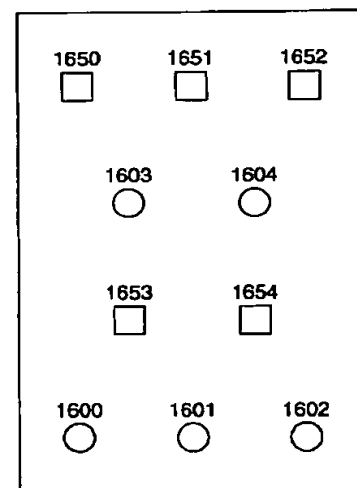
【図1.5】



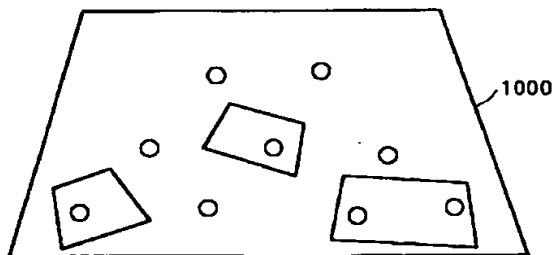
【図3】



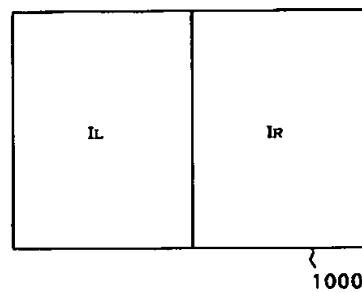
【図5】



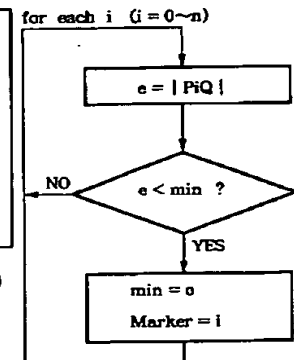
【図6】



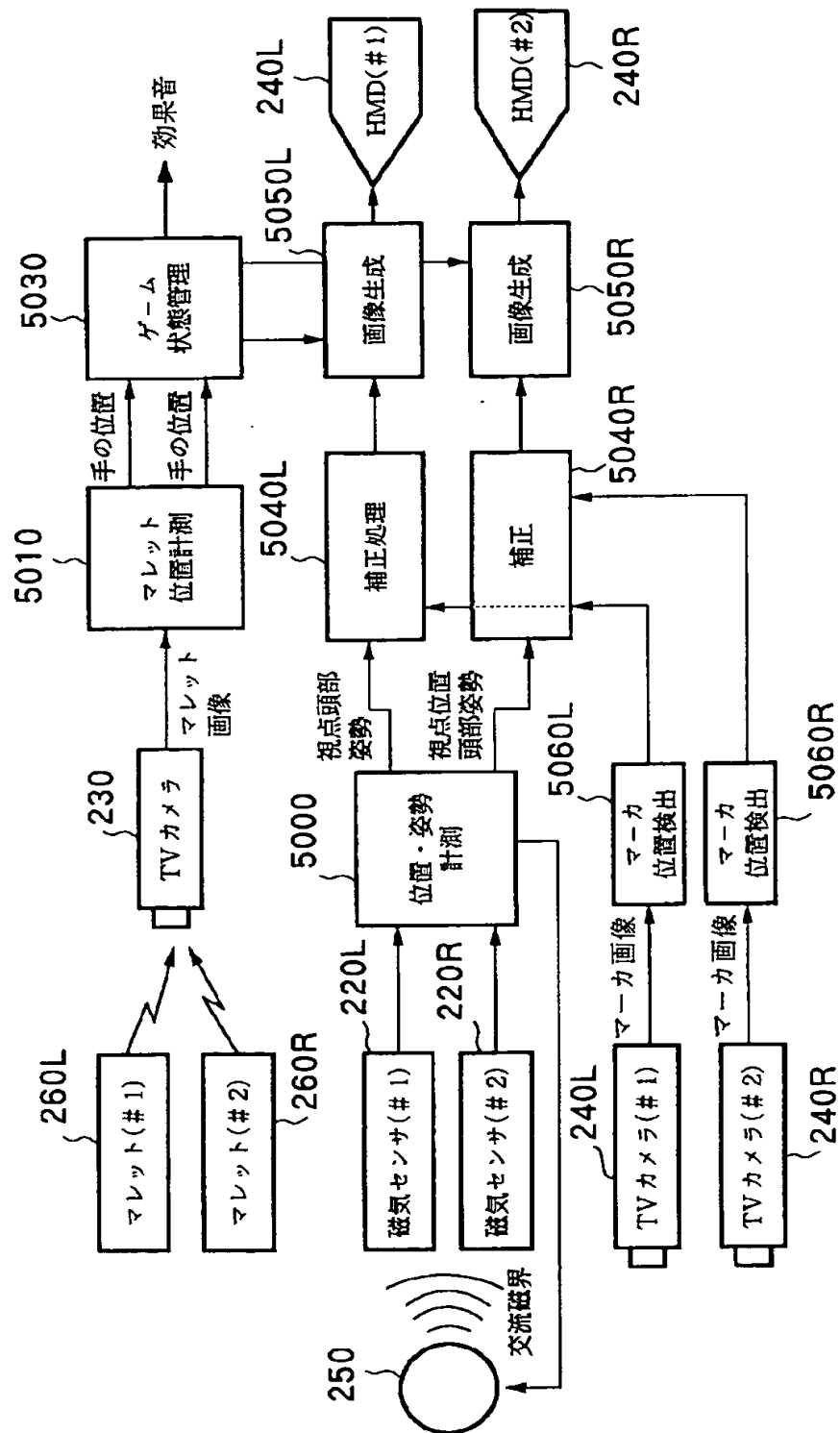
【図11】



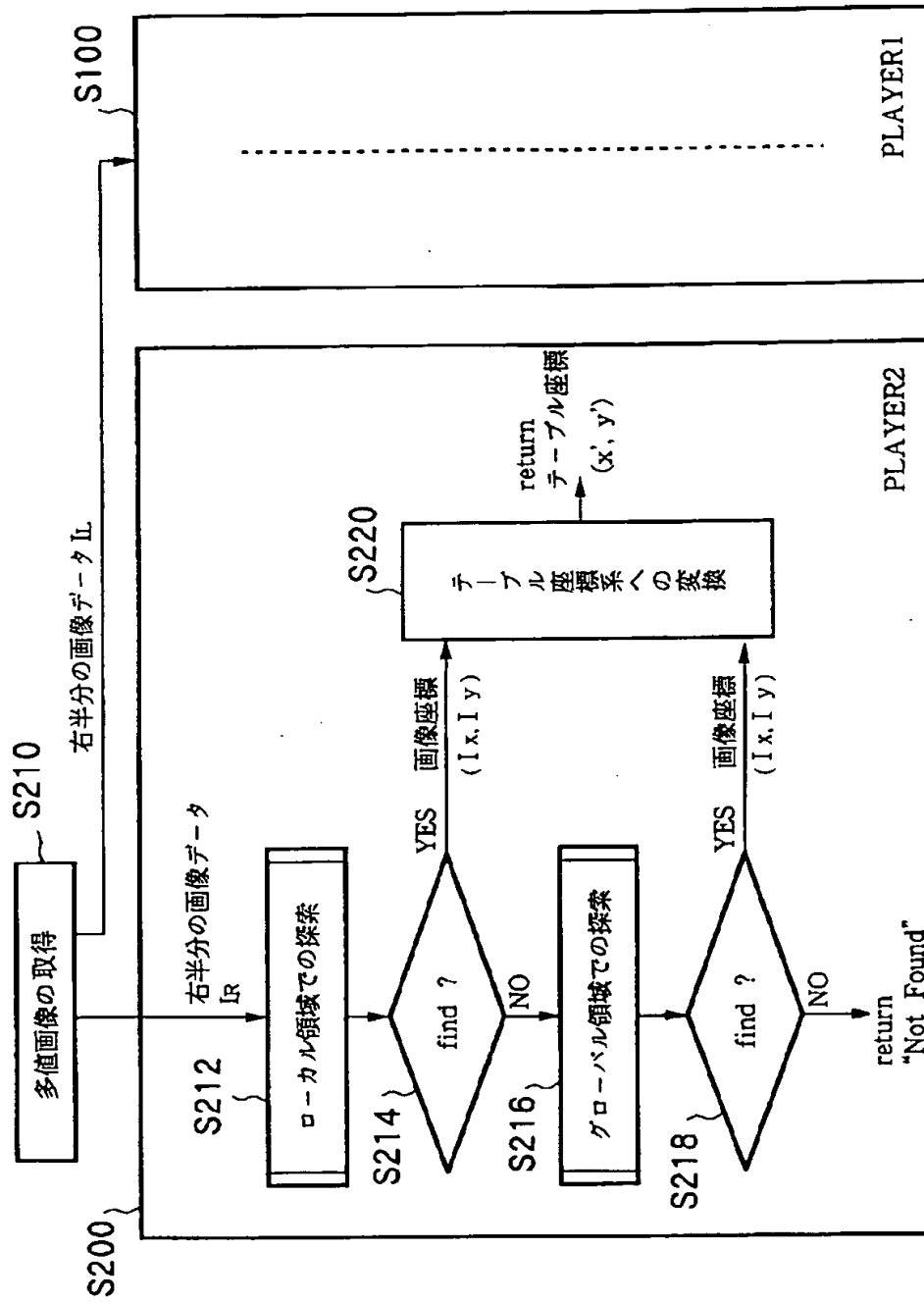
【図20】



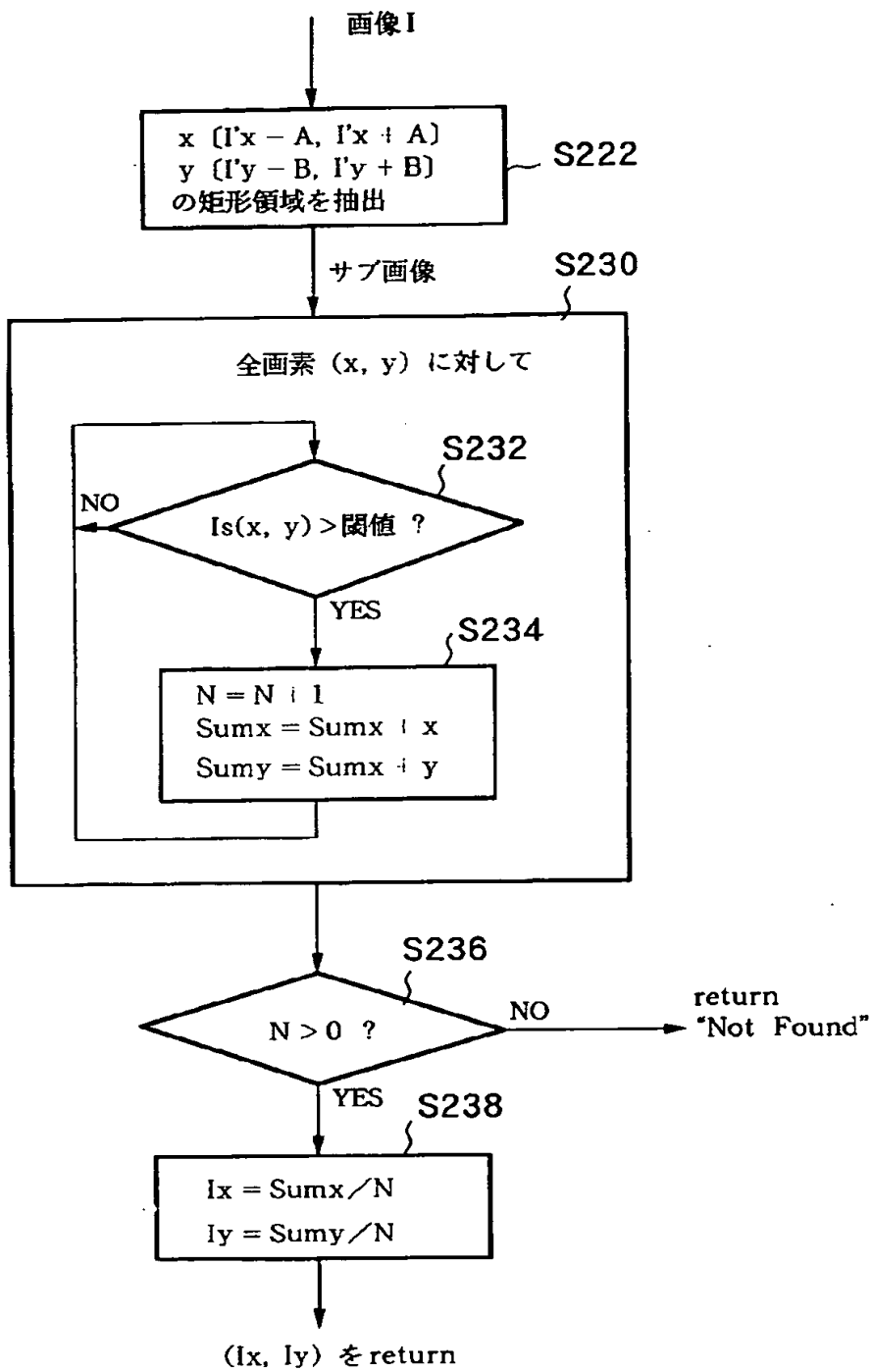
【図7】



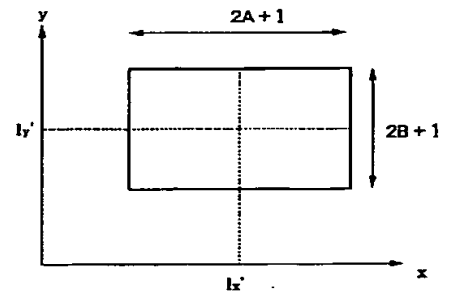
【図8】



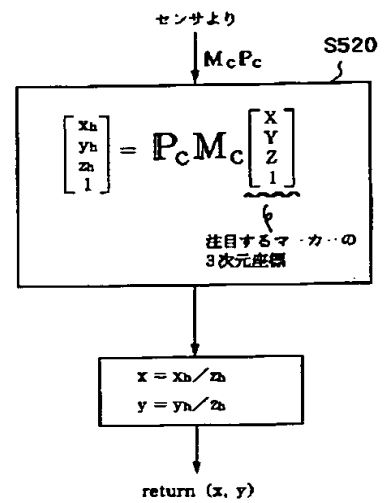
【図9】



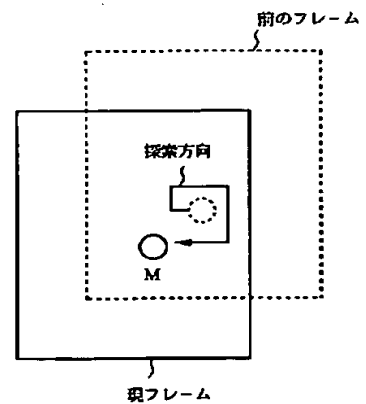
【図12】



【図18】

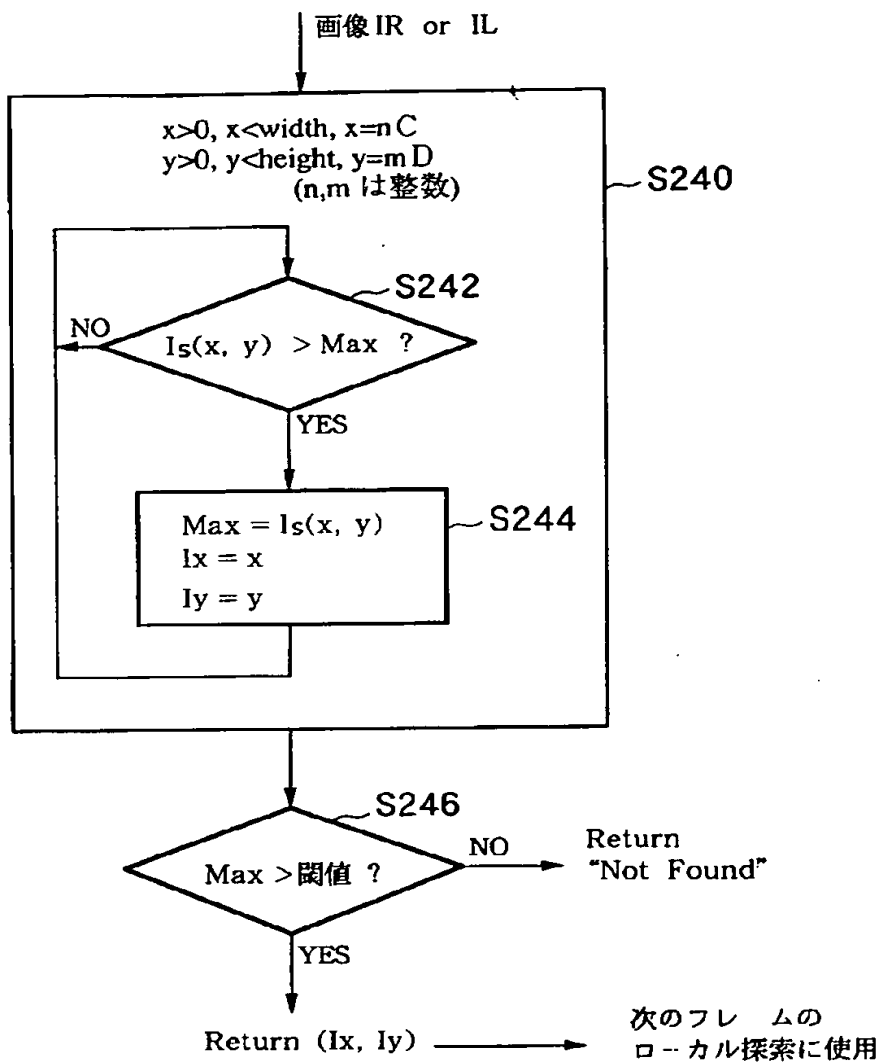


【図22】

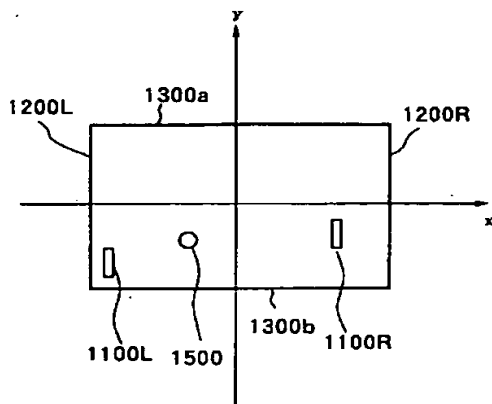




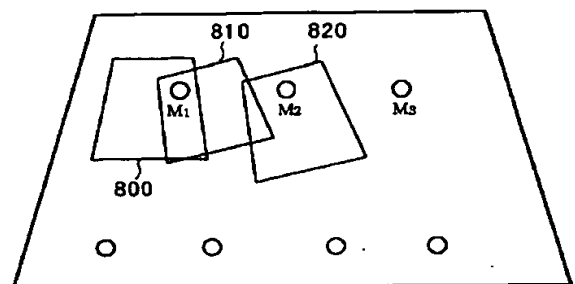
【図10】



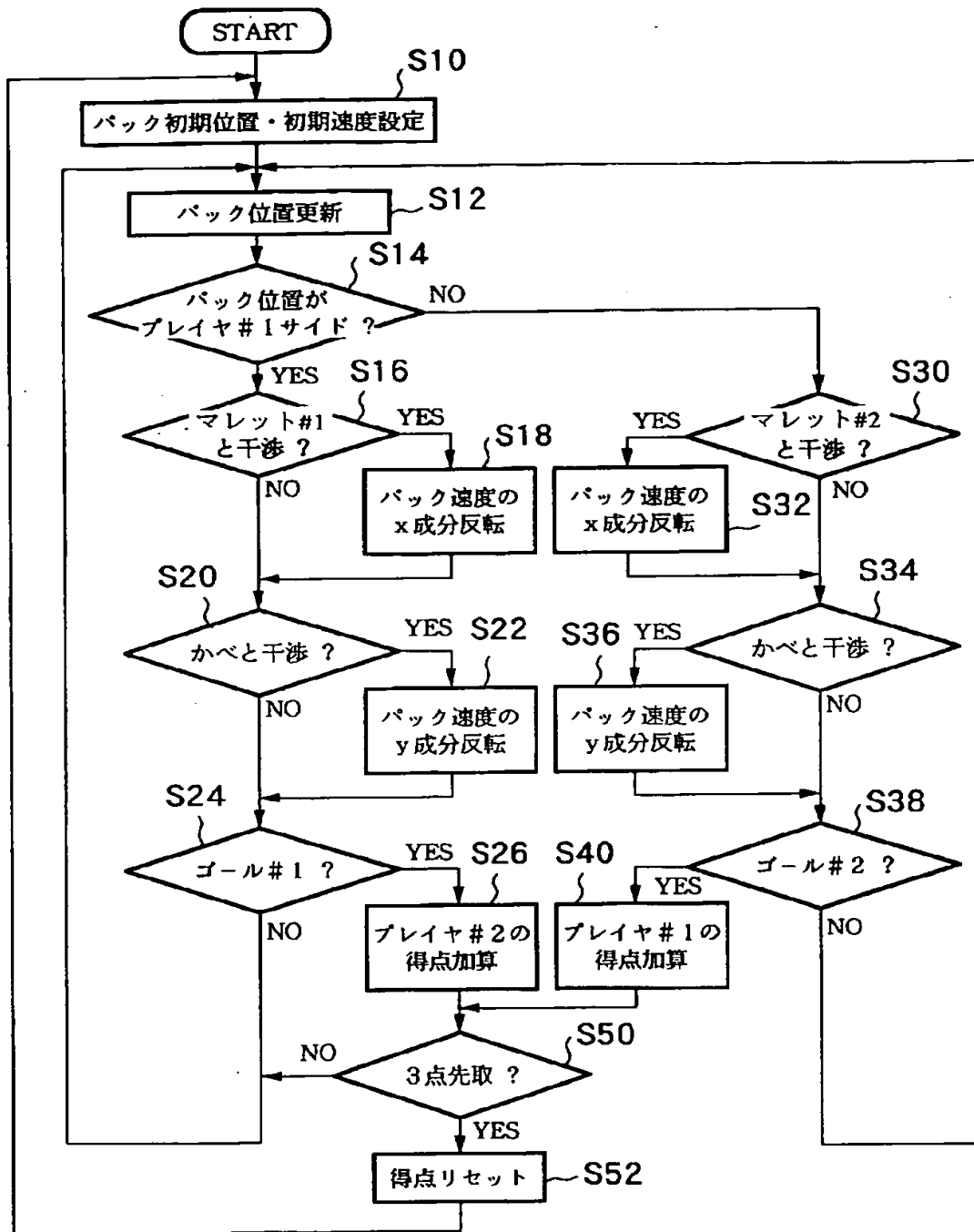
【図13】



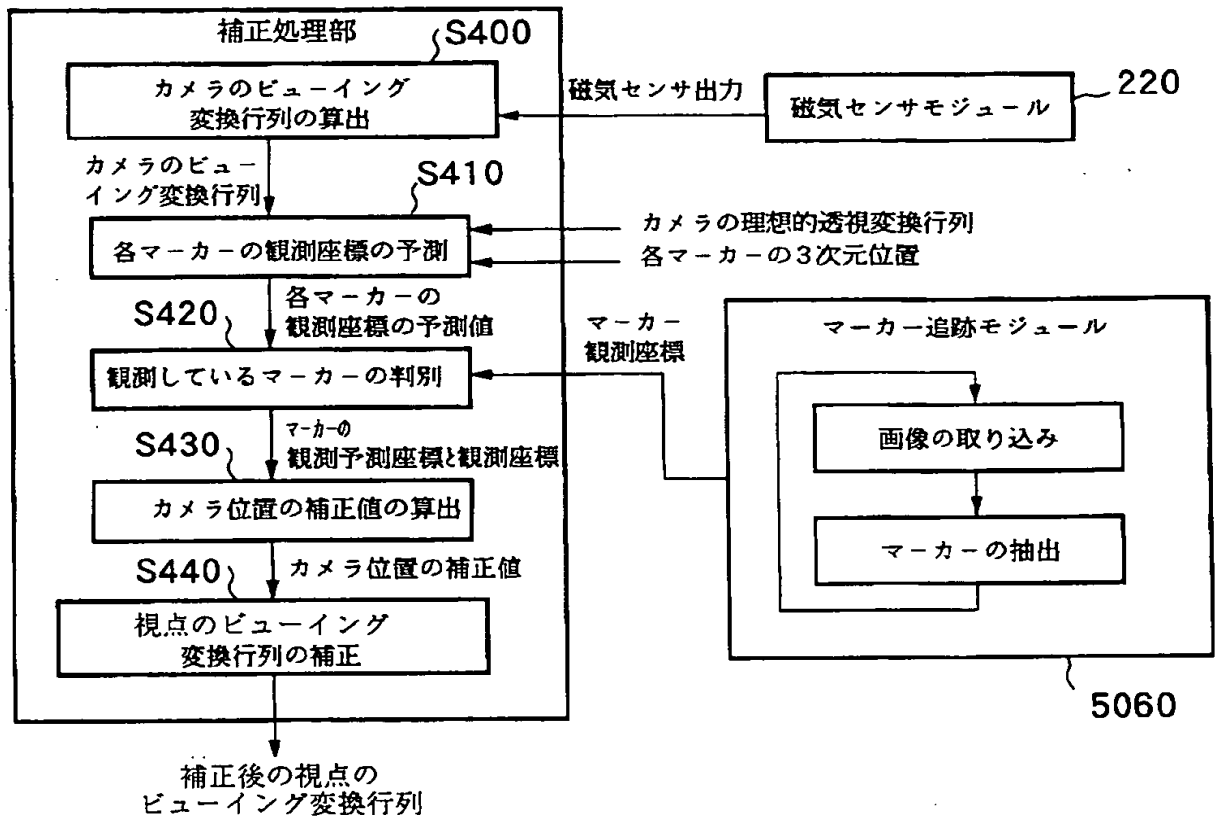
【図21】



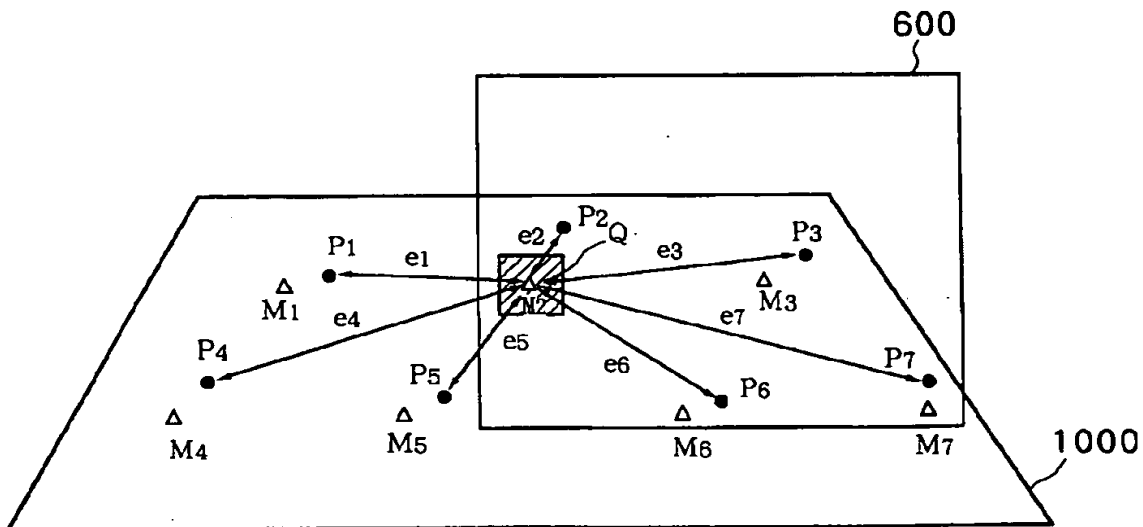
【図14】



【図16】

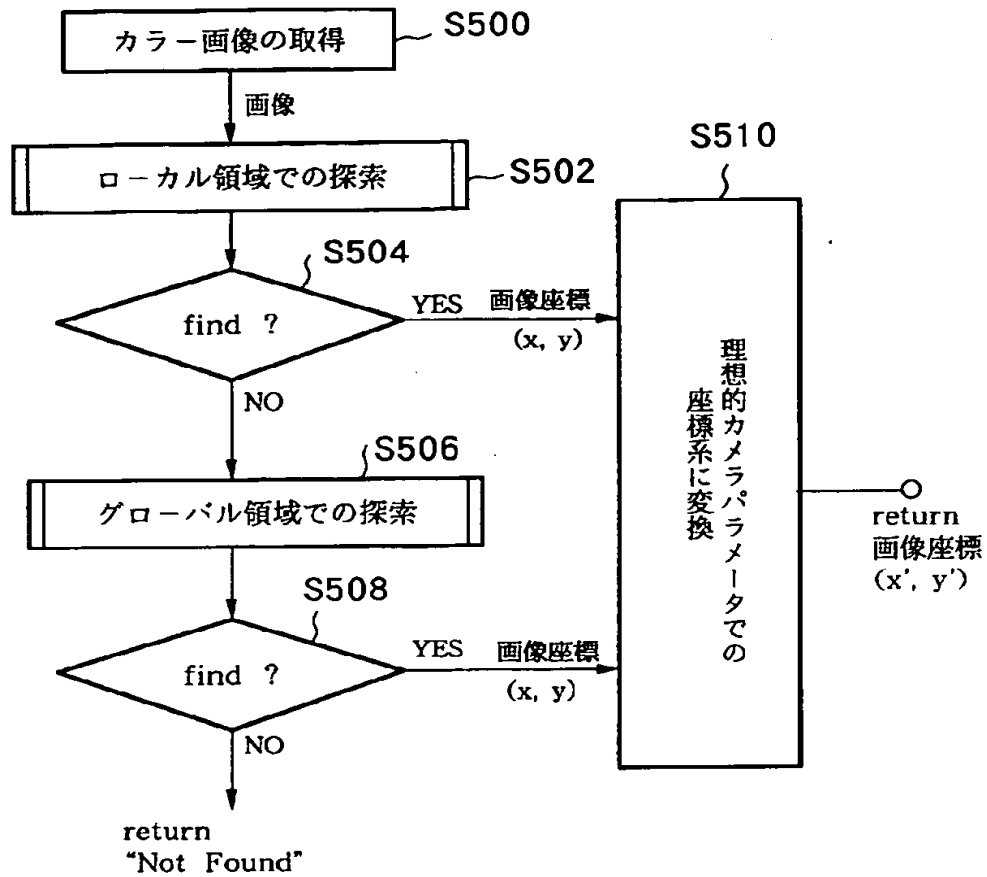


【図19】



$M_i$  : 現実空間のマーカ-位置  
 $Q$  : 画像上で抽出されたマーカ-位置  
 $P_i$  : 各マーカ-の観測予測位置  
 $e_i$  :  $|P_i Q|$   $Q$  と  $P_i$  の距離

【図17】



フロントページの続き

(72) 発明者 山本 裕之  
横浜市西区花咲町6丁目145番地 横浜花  
咲ビル 株式会社エム・アール・システム  
研究所内